

学校编码: 10384
学 号: 200230034

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦 门 大 学
硕 士 学 位 论 文

改进的基于 Faraday 效应的偏振型
光纤电流传感器

Modified Polarimetric Optical Fiber Current Sensor
Based on the Faraday Effect

郑艳敏

指导教师姓名: 董 小 鹏 教 授

专 业 名 称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2 0 0 5 年 5 月

论文答辩时间: 2 0 0 5 年 6 月

学位授予日期: 2 0 0 5 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2005 年 5 月

厦门大学博硕士论文摘要库

摘 要

本文详细阐述了光纤电流传感器的原理与分类,介绍了目前最新的设计方案。对现有各种方案做了理论分析,在此基础上作了一定的改进,并对不同方案进行性能的比较。最后在总结现有设计方案的基础上,提出具有一定创新性能又比较稳定的设计方案。

现有的光纤电流传感器的传感头光纤一般都采用扭转光纤,用扭转引入的圆双折射来抑制光纤中存在的线性双折射,但是这种传感头中残余的一部分线性双折射,而且圆双折射的大小极易受温度的影响,致使这类光纤传感器的性能会因为环境温度变化而改变,影响了系统的稳定性。在本文中,我们利用退火光纤来制成传感头,这样不但可以消除由于弯曲引入的线性双折射,还可以消除光纤的内在线性双折射,所以当温度改变时,系统仍然很稳定。

最后我们提出了利用偏振分束器(PBS)代替传统采用光纤耦合器构架 Sagnac 环路光纤电流传感器,并通过实验证明了它们有较好的线性度、灵敏度和抗干扰性

关键词: 光纤电流传感器、扭转光纤、退火光纤、线性双折射、Faraday 效应、偏振分束器、Sagnac 环路

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

The dissertation presents the theory of optical fiber current sensor in detail and introduces a novel design of them—the production of the Nxtphase Corporation, which measures the phase retardation to yield the desired current. Then put forward the new design of the optical fiber current sensor, which get current by measuring the polarization state rotation .

A common sensing fiber of many of optical fiber current sensor is twisted fiber , which utilizes the circular birefringence induced by twisting fiber to restrain the linear birefringence of the fiber .But this kind of system is precarious when the temperature is changed. The sensing fiber is annealed in our design ,which can minimize the bend birefringence and inherent birefringence of the fiber. So the system is stabilized when the environment is changed.

We also put forward the new design of optical fiber current sensor, which use polarization beam splitter instead of fiber coupler to build the Sagnac ring . And get accurate and stabilized measurement of the current .

Key words: Optical fiber current , twisted fiber ,annealed fiber ,linear birefringence, Faraday Effect, Polarization beam splitter , Sagnac ring

厦门大学博硕士论文摘要库

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 引言	1
§ 1.2 本文的主要工作和创新之处	3
本章参考文献.....	4
第二章 光纤电流传感器的原理与分类.....	5
§ 2.1 光纤电流传感器的基本原理	5
2.1.1 Faraday 磁光效应	5
2.1.2 磁致伸缩效应.....	6
§2.2 光纤电流传感器的分类	7
2.2.1 强度调制型光纤电流传感器.....	7
2.2.2 相位调制型光纤电流传感器.....	7
2.2.3 偏振态调制型光纤电流传感器	12
本章参考文献.....	13
第三章 光纤电流传感器的主要问题及部分解决方法.....	15
§3.1 线性双折射存在的不良影响和解决的方法	15
3.1.1 线性双折射的存在对系统的不良影响.....	15
3.1.2 解决线性双折射问题的方法.....	16
§3.2 输出信号随偏置相位变化对系统的不良影响和解决方法	19
3.2.1 输出信号随偏置相位变化对系统的不良影响.....	19
3.2.2 解决输出信号随偏置相位变化的方法.....	20
3.2.3 利用信号处理的方法消除信号偏置漂移.....	25
3.2.4 光纤去偏器的原理及其在光纤电流传感器中的应用...	26

3.2.5 ASE 光源的特性及其在光纤电流传感器中的应用	30
本章参考文献.....	33
第四章 光纤电流传感器的设计方案及实验结果.....	35
§4.1 采用传统偏振态检测方法设计的光纤电流传感器	36
4.1.1 理论分析.....	36
4.1.2 实验结果与分析.....	39
4.1.3 采用 Faraday 反射镜的理论分析	40
§4.2 退火光纤与扭转光纤温度稳定性实验	44
§4.3 采用 PBS 和 Sagnac 环路仪方法设计的光纤电流传感器	48
本章附录.....	54
本章参考文献.....	56
第五章 实验结果分析.....	57
第六章 总结和展望.....	59
致 谢.....	61
附 录：部分实物图.....	63

Index

Chapter1 Foreword.....	1
§ 1.1 Background of subject and its significance	1
§ 1.2 main works of the article	3
References in the chapter	4
Chapter2 The theory and sorts of optical fiber current	
sensor	5
§ 2.1 The fundamental of optical fiber current sensor	5
2.1.1 Faraday effect.....	5
2.1.2 Magnetic field arose to material flex.....	6
§2.2 The sorts of optical fiber current sensor	7
2.2.1 The style using intensity modulation.....	7
2.2.2 The style using phase modulation.....	7
2.2.3 The style using polarization state modulation..	12
References in the chapter	13
Chapter3 The main question and resolvent of optical fiber	
current sensor.....	15
§3.1 The blight of linear birefringence and the the method of	
resolvent	15
3.1.1 The blight of linear birefringence.....	15
3.1.2 The method of resolvent.....	16

§3.2 The blight of output signal fluctuation and the method of resolvent	19
3.2.1 The blight of output signal fluction.....	19
3.2.2 The method of resolvent.....	20
3.2.3 Using signal disposal to reduce the signal fructuation	25
3.2.4 The configuration and application of fiber depolarizor.....	26
3.2.5 The character and application of ASE source....	30
References in the chapter.....	33
Chapter3 The design and measurement of optical fiber current sensor.....	35
§4.1 The design with polarization state modulation.....	36
4.1.1 The analyse of the theory.....	36
4.1.2 The measurement and analyse of the system.....	39
4.1.3 The system with Faraday rotated reflector.....	40
§4.2 The system with Faraday rotated reflector	44
§4.3 The design method with Sagnac interferometer	48
References in the chapter.....	56
Chapter5 The analyse of the experiment	57
Chapter6 Conclusion and expectation.....	59
Acknowledgement	61

第一章 绪 论

§1.1 引言

光导纤维最早在光学行业中是用于传光及传像。在 20 世纪 70 年代初产生出低损光纤后，光纤在通信技术中用于长距离传递信息。但是光导纤维不仅可以作为光波的传播媒质，而且光波在光纤中传播时表征光波的特征参量（振幅、相位、偏振态、波长等）因外界因素（如温度、压力、磁场、电场、位移、转动……）的作用而间接或直接地发生变化，从而可将光纤用作传感元件来探测各种物理量。这就是光纤传感器的基本原理。如图 1.1 所示。

光纤传感器可以分为传感型与传光型两大类。利用外界物理因素改变光纤中光的强度（振幅）、相位、偏振态或波长（频率），从而对外界因素进行计量和数据

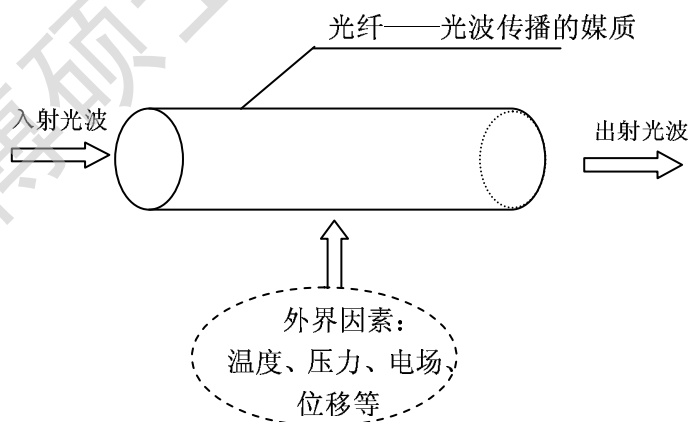


图 1.1 光纤传感原理

传输的，成为传感型（或功能型）光纤传感器。它具有传感合一的特点，信息的获取和传输都在光纤之中。传光型光纤传感器是指利用其他敏感元件测得的物理量，由光纤进行数据传输。它的特点是充分利用现有的传感器，便于推广应用。这两类光纤传感器都可再分为光强调制、相位调制、偏振态调制以及波长调制等几种型式。

与传统的传感器相比, 光纤传感器的主要特点是: 抗电磁干扰, 电绝缘, 耐腐蚀, 本质安全; 灵敏度高; 重量轻, 体积小, 外形可变; 测量对象广泛; 不生锈, 不受闪电影响, 不受接地影响; 对被测介质影响小; 便于复用, 便于成网; 还有成本低等优点。所以使用这些特性来架构光纤传感器, 使得其传感器具有高灵敏度, 高可靠性, 高稳定性, 而且适用于恶劣的环境。

因此光纤传感器被广泛地用到各个领域。在电力系统中, 随着现代电站的电压等级的不断加大, 传统的电流互感器在测量中的不足越来越多地暴露出来, 于是迫切需要一种新的传感器来取代传统的传感器。近年来由于光纤技术的广泛应用, 光纤化电力站一直是国内外各研究机构所追求的目标, 光纤电流传感器则是关键技术难题。

与通常使用的电流互感器相比, 在高电压大电流测量的应用中采用光纤技术具有明显的优越之处: 光纤介质物理特性可以满足在高电压环境下工作的绝缘要求; 光纤电流传感器不会产生磁饱和现象, 也不像通常的电流互感器那样工作动态范围受铁芯磁饱和效应的限制; 它们可以用于高电磁噪声的工作环境; 也可以在比较宽的频带内, 产生高线性度响应; 可用于监控或者测量为目的的高速遥感、遥测系统; 一般来说, 这些传感器的测量装置结构紧凑, 体积小, 重量轻, 价格便宜。

从八十年代以来, 国外投入了大量的人力和物力从事这一课题的研究, 如美国的 A B B 公司、日本的东芝、三菱等公司。在国内如华中理工大学、清华大学、原机电部 26 所等单位也积极从事这一课题的研究。虽然人们提出了很多种方案, 但是真正实用化的却不多, 还有很多技术难题没有得到很好的解决, 如: 光纤固有的双折射现象、动态测量范围小、温度对系统的影响、环境噪声对系统的干扰等^[1-2]。

§1.2 本文的主要工作和创新之处

本文对现有的光纤电流传感器的设计方案进行了深入、细致的研究，分析光纤电流传感器的原理与分类，以其存在的问题，并介绍部分解决的方法。并做了大量的对比实验，对现有方案进行一定的改进，使其测量结构更稳定。在此基础上提出我们自己的设计方案，使得设计光纤电流传感器可以稳定准确的测量电流。

本篇论文大致可以分为四部分，一共六章。第一章简述研究的动机和背景；第二章介绍光纤电流传感器的原理和分类；第三章分析电流传感器存在的问题及其解决方法；第四章介绍光纤电流传感器的设计及实验；第五章对实验结果进行分析；第六章对整个总结及未来发展。

本文的创新之处在于：

1. 首次在理论上和实验上研究采用 PBS（偏置分束器）替代 2x2 耦合器搭建 Sagnac 环路，来设计光纤电流传感器如图 4.12 所示。实验结果表明这种方法可以准确稳定的测量电流信号。而且通过理论和实验表明，在环路中偏振光旋转角度为零时，这种方案测量的结果与输入光的偏振态无关。
2. 反接 PBS 来替代 2x2 耦合器和起偏器如图 4.5 所示，节省的光纤器件，简化系统的复杂性，提高输入光的利用率，提高了系统的稳定性。
3. 在国内首次在实验上实现把退火光纤传感头引入到新型 Sagnac 环路的光纤电流传感器中。在大量的实验基础上找到最佳可行的制作方案，并与传统的扭转光纤制作的传感头做了对比实验，实验结果表明，采用退火光纤方案可以很好的消除温度变化造成的信号波动。

本章参考文献

- [1] 靳伟等编著. 导波光学传感器: 原理与技术 北京: 科学出版社, 1998
- [2] 李少慧等译. 光纤传感器 华中理工大学出版社, 1997

第二章 光纤电流传感器的原理与分类

§2.1 光纤电流传感器的基本原理

光纤电流传感器可以基于 Faraday 磁光效应和磁致伸缩效应来进行测量。

2.1.1 Faraday 磁光效应

所谓 Faraday 磁光效应,是指在磁场的影响下,在介质中传播的线偏振光的偏振方向会发生偏转的物理效应,图 2.1。如被测电流在某一光学介质中产生的磁场强度为 H ,线偏振光在该介质中传播的某一路径微元微 dI ,则在此介质中传播的线偏振光的偏振方向所发生的总的偏转角是:

$$\Phi_F = \int_l V \vec{H} \cdot d\vec{l} \quad (2.1)$$

式中的 V 是光学介质的 Verdet 常数, l 是光波在介质中传播的距离,即磁场与光线之间相互作用的长度。如果将介质置于长直螺线管内,则 (2.1) 式成为:

$$\Phi_F = V N_F N_C I \quad (2.2)$$

式中 N_F 和 N_C 分别是为光纤通过螺线管的次数和螺线管线圈的匝数, I 是代测的电流强度。当介质中的光路形成绕载流导线的闭合或近似闭合的环路时,方程 (2.1) 成为闭合环路积分:

$$\Phi_F = \oint V H \cdot dl \quad (2.3)$$

此时方程 (2.3) 具有与安培定律类似的形式。也就是：围绕载流导体的磁场强度的闭合环路积分只与该环路所围电流有关。由 (2.3) 式及安培定律可知：在闭合光路的条件下，通过介质并环绕载流导线的线偏光振的偏振角的变化，与光束所围电流成正比。这正是 (2.3) 式构成了 Faraday 型光学电流传感器的理论基础。

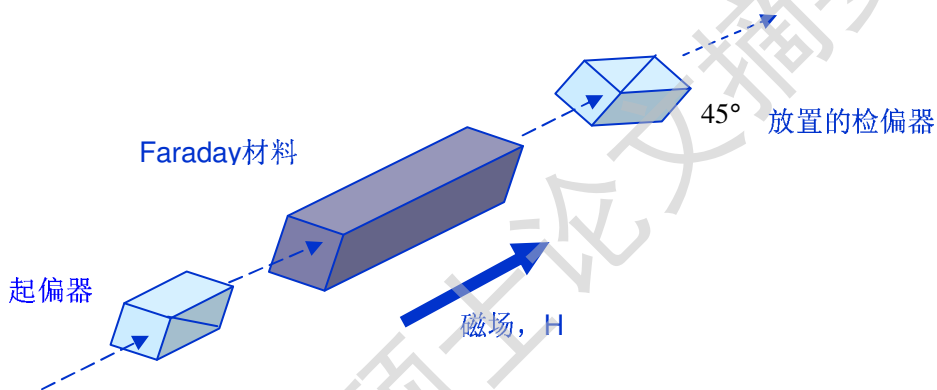


图 2.1 基本的起偏—检偏偏振检测方案

2.1.2 磁致伸缩效应

磁致伸缩指一些金属（如铁或镍），在磁场作用下具有伸缩能力。磁致伸缩效应电流传感器是利用磁致伸缩效应，用被测电流产生的磁场来改变磁致材料的大小，从而带动光纤的伸缩，达到相位调制的目的^[1]。

磁致伸缩效应电流传感器一般把光纤固定在磁致伸缩材料上，磁致伸缩材料伸缩将引起光纤内的应变，利用光纤干涉仪即可检测出光纤内应变的变化，从而间接地测出被测的电流值。

通常它有下列3种结构形式：(1) 磁致材料圆柱体的圆周上绕以光纤。(2) 在磁致材料带或管上粘贴光纤。(3) 在光纤表面上涂或镀一层均匀的磁致伸缩材料金属膜。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库